

Tata cara pembangunan sumur produksi dengan pengeboran sistem sirkulasi langsung



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

	Halaman
Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Ketentuan dan persyaratan.....	4
4.1 Umum.....	4
4.2 Teknis.....	5
5 Cara pengerjaan.....	7
5.1 Metode pengeboran.....	7
5.2 Pemasangan mesin bor.....	7
5.3 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur dalam	7
5.4 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur menengah	8
5.5 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur dangkal.....	9
5.6 Cara pelaksanaan beberapa kegiatan dalam pekerjaan konstruksi sumur.....	10
6 Laporan dan catatan pelaksanaan pekerjaan	13
Lampiran A	15
Lampiran B	17
Lampiran C	21
Lampiran D	23
Bibliografi.....	24

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) berjudul “Tata cara pembangunan sumur produksi dengan pengeboran sistem sirkulasi langsung” merupakan revisi penggabungan dan penyempurnaan dari :

1. SNI 6469, Tata cara pembangunan sumur produksi,
2. SNI 3969, Metode pemboran air tanah dengan alat bor putar sistem sirkulasi langsung.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, Subpanitia Teknis 91-01-S1 Bidang Sumber Daya Air dan telah dibahas pada rapat konsensus pada tanggal 16 Agustus 2011 di Bandung dengan melibatkan wakil dari pemerintah, produsen, konsumen, pakar akademis, peneliti dan narasumber.

Tata cara penulisan standar ini mengacu kepada PSN 08:2007 tentang penulisan Standar Nasional Indonesia.



Pendahuluan

Standar ini disusun dengan memperhatikan SNI 2527, *Metode pengujian karakteristik akifer tertekan dengan uji pemompaan Jacob I*, SNI 6454, *Metode pengujian ketegaklurusan sumur* dan SNI 6377, *Tata cara pencucian sumur* sebagai acuan normatif.

Maksud dan tujuan dari penyusunan SNI ini adalah sebagai acuan dalam melaksanakan pembangunan sumur produksi dengan sistem sirkulasi langsung pada pelaksanaan pengeboran atau eskplorasi air tanah.

Jenis sumur produksi ada tiga, yaitu dangkal, menengah dan dalam dengan tahapan di antaranya antara lain persiapan, pengerjaan pengeboran dan pelaporan. Sumur produksi yang dibuat terutama dirancang untuk pengambilan air tanah atau sebagai sumur pantau.



Tata cara pembangunan sumur produksi dengan pengeboran sistem sirkulasi langsung

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan tata cara pembangunan sumur produksi dengan pengeboran dan dengan menggunakan sistem sirkulasi langsung. Pembangunan sumur produksi dalam rangka melaksanakan eksplorasi air tanah, dengan mencakup ketentuan, persyaratan dan prosedur pengerjaan, pelaporan hasil pengeboran dan pembangunan sumur produksi.

2 Acuan normatif

SNI 6454, *Cara uji ketegaklurusan sumur*
SNI 6377, *Tata cara pencucian sumur*
SNI 6989.58, *Tata laksana pengambilan sampel air*.

3 Istilah dan definisi

3.1

akuifer

lapisan tanah lulus air yang dapat menyimpan dan mengalirkan air tanah dan biasa disebut sebagai lapisan pembawa air

3.2

cutting

hasil pengeboran berupa keratan atau kikisan batuan

3.3

deep water level (DWL)

tinggi muka air akuifer dalam (akuifer tertekan)

3.4

efisiensi sumur

suatu besaran hasil perbandingan antara kapasitas spesifik yang didapat dari pengujian di lapangan (Q/s) dengan kapasitas spesifik teoritis (Q/BQ)

3.5

kapasitas spesifik suatu sumur

besarnya debit setiap satuan penurunan muka air tanah

3.6

kehilangan tinggi tekan akuifer

kehilangan tinggi tekan yang disebabkan oleh aliran air yang melalui ruang antar butir akuifer

3.7

kehilangan tinggi tekan sumur

kehilangan tinggi tekan yang disebabkan oleh aliran air melalui lubang bor atau penyaring

3.8

kekentalan lumpur

nilai kekentalan atau viskositas yang harus dicapai oleh lumpur pengeboran sehingga cukup kuat untuk menahan tekanan formasi dan mengangkat *cutting* ke permukaan dan cukup cair untuk dialirkan melalui pipa pengeboran

3.9

koefisien simpanan

volume air yang dilepaskan dari simpanan atau diserap ke dalam simpanan setiap satuan luas permukaan akuifer dalam setiap perubahan tinggi-tekan (*head*) pada komponen tegak-lurus terhadap permukaan tersebut

3.10

lonjor tunggal

sumur tunggal vertikal dengan luas penampang yang sama

3.11

lubang penuntun (*pilot hole*)

lubang yang pertama kali dibuat sebagai penuntun dalam melakukan pengeboran, umumnya memiliki diameter kecil.

3.12

material pengencer

material yang digunakan sebagai pengencer lumpur pengeboran, umumnya berupa air atau minyak (*oil*)

3.13

pendugaan geofisik sumur

pekerjaan pengukuran data mengenai sifat-sifat fisik dan kelistrikan batuan yang ditembus pada saat pengeboran, yang bertujuan untuk mengetahui variasi dan ketebalan batuan penyusun untuk menentukan konstruksi sumur bor

3.14

pipa jambang

pipa yang dipasang pada bagian atas konstruksi sumur bor, berfungsi sebagai tempat diletakkannya pipa isap pompa dan sekaligus sebagai pelindung dari runtuhnya dinding lubang bor

3.15

pipa lindung

pipa yang dipasang pada lapisan yang bukan akuifer pada sumur bor dan berfungsi sebagai pelindung terhadap runtuhnya dinding lubang bor

3.16

pipa produksi

pipa yang terdiri atas pipa lindung dan pipa penyaring

3.17

pipa saring

pipa yang dipasang pada akuifer dan dibuat berlubang sebagai bukaan saringan dengan ukuran tertentu, berfungsi sebagai penyaring material pasir dari air yang diisap keluar

3.18**pompa dorong**

pompa yang diletakkan di dasar sumur dalam posisi terendam dengan mekanisme mendorong air sampai tinggi tekan yang diperlukan, umumnya dipakai pada konstruksi sumur dalam

3.19**pompa isap**

pompa yang diletakkan di permukaan dengan mekanisme kerja sentrifugal berfungsi mengisap air dari bawah tanah dan mendorong sampai tinggi tekan yang diperlukan, umumnya dipergunakan pada konstruksi sumur menengah.

3.20**reducer**

penyambung atau penghubung dari ujung pipa yang berdiameter besar ke ujung pipa yang berdiameter lebih kecil

3.21**sementasi**

proses pemberian mortar semen di antara lubang bor dan pipa jambang agar konstruksi sumur pada kondisi stabil

3.22**sentraliser**

alat pemusat untuk menetapkan kedudukan pipa-pipa agar tetap berada di tempatnya pada bagian pusat lubang bor dan memperbaiki ikatan semen pada lapisan sehingga mencegah kekosongan semen pada saat sementasi

3.23**sirkulasi lumpur pengeboran**

pemompaan lumpur (yang digunakan khusus dalam proses pengeboran) mulai dari kolam lumpur masuk ke lubang pengeboran melalui pipa pengeboran, kemudian keluar kembali ke kolam lumpur dengan membawa *cutting* atau hancuran batuan hasil pengeboran, begitu seterusnya selama berlangsung proses pengeboran

3.24**sumur dalam**

sumur dengan kedalaman lebih dari 100 meter yang menggunakan pompa dorong

3.25**sumur dangkal**

sumur dengan kedalaman kurang dari 40 meter yang dapat diproduksi dengan mesin pompa air biasa ataupun ditimba secara tradisional

3.26**sumur menengah**

sumur yang menggunakan pompa isap dengan kedalaman kurang dari 60 meter

3.27**sumur produksi**

sumur bor yang dibuat dengan mesin bor dan pengambilan airnya dilakukan dengan pompa dorong atau pompa isap

3.28

surface water level (SWL)

tinggi muka air permukaan (akuifer bebas)

3.29

transmisivitas

daya kelulusan lapisan akuifer terhadap air yang dinyatakan dalam m^2/s atau m^2/hari , dan merupakan perkalian antara kelulusan rata-rata dengan ketebalan rata-rata akuifer

3.30

uji pemompaan

pemompaan air dalam jangka waktu tertentu dari sumur dengan tujuan untuk menguji dan mengetahui berapa kemampuan debit sumur (L/s) yang bersangkutan

4 Ketentuan dan persyaratan

4.1 Umum

4.1.1 Jalan masuk lokasi

Peralatan dan mesin pengeboran harus dapat masuk ke lokasi yang direncanakan meskipun dalam musim hujan. Sebelum melakukan pekerjaan pengeboran, maka harus dilaksanakan pembangunan sarana dan prasarana jalan masuk atau perbaikan jalan masuk yang sudah ada menuju ke lokasi atau memperkuat jembatan dan gorong-gorong sehingga mampu dilewati kendaraan roda empat atau lebih yang sanggup menahan tekanan ganda minimal dua ton. Jalan masuk ke lokasi dan jembatan ini harus dipelihara selama pekerjaan berlangsung sampai seluruh pekerjaan selesai.

4.1.2 Persiapan lokasi pengeboran

Sebelum mobilisasi harus mempersiapkan peralatan, perlengkapan yang dibutuhkan untuk pekerjaan pengeboran dan pembangunan sumur, serta penempatannya pada setiap lokasi pengeboran. Setelah itu pekerjaan persiapan lokasi dapat dimulai, antara lain:

- a) Permukaan tanah pada lokasi pengeboran harus lebih tinggi dari sekitarnya. Dapat dibuat lapisan/lantai dari pasangan batu pada lokasi pengeboran hingga permukaannya menjadi lebih tinggi, untuk menghindari terjadinya genangan air terutama pada musim hujan.
- b) Pembuatan kolam pengendap untuk menampung lumpur yang keluar dari lubang bor langsung dialirkan melalui ayakan yang bergetar menuju ke kolam pengendap dengan ukuran (tinggi 1 x panjang 1 x lebar 1) m.
- c) Buat 2 kolam lumpur pada tiap lokasi, masing-masing berukuran (tinggi 1 x lebar 2 x panjang 2) m yang dikedapkan dengan dilapisi semen.
- d) Jarak kolam lumpur pertama dengan kolam pengendap tidak terlalu dekat (lebih kurang 4 m) agar aliran lumpur cukup tenang, sehingga *cutting* dapat mengendap sebelum masuk ke kolam lumpur. Begitu juga jarak antara kolam lumpur pertama dan kolam lumpur kedua dengan ukuran yang sama lebih kurang 6 m.
- e) Saluran penghubung antar lubang bor dengan kolam pengendap, kolam lumpur pertama dan kedua berukuran lebar 0,4 m dan kedalaman 0,5 m.
- f) Pipa isap dari pompa lumpur yang dimasukkan ke dalam kolam lumpur kedua harus ditempatkan dengan jarak yang agak jauh dari mulut saluran tempat datangnya lumpur dari kolam lumpur pertama, sehingga sisa-sisa *cutting* yang masih terbawa dapat

mengendap dan tidak langsung terisap ulang. Demikian juga kedalaman pembenaman ujung pipa isap pompa lumpur tidak boleh terlalu dekat dengan dasar kolam.

- g) Persediaan air untuk keperluan pekerjaan pengeboran harus dapat disediakan dengan lancar.

4.1.3 Pengamanan lokasi

Untuk keamanan peralatan pengeboran beserta perlengkapannya di lokasi pengeboran harus diperhatikan antara lain:

- a) Pembuatan pagar pengaman di sekeliling lokasi tempat operasi pengeboran dan papan larangan agar selain petugas tidak diperkenankan masuk.
- b) Upaya pengamanan tidak mengganggu bangunan, saluran, jalan di sekitar lokasi pengeboran.
- c) Pemulihan kembali lokasi seperti keadaan semula setelah pekerjaan selesai.
- d) Pelaksanaan kegiatan dilaporkan kepada aparat keamanan dan pihak berwenang setempat

4.1.4 Sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3)

Dalam pelaksanaan pekerjaan, keselamatan kerja merupakan faktor utama karena tidak ada yang lebih berharga dari keselamatan kerja. Upaya untuk mengakomodasi keselamatan kerja tersebut meliputi:

- a) Mempersiapkan sarana keselamatan kerja di antaranya papan peringatan, sekat penutup agar masyarakat tidak masuk, pagar pengaman, P3K.
- b) Koordinasi dengan rumah sakit, puskesmas atau sarana kesehatan lainnya.
- c) Memperhatikan Peraturan Pemerintah yang berlaku (Pada saat standar ini diterbitkan Peraturan yang berlaku adalah Permen PU no 9/PRT/M/2008 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi).

4.1.5 Pekerja dan penanggung jawab

Pekerja dan penanggung jawab dalam pembangunan sumur produksi harus menulis namanya dan membubuhi tanda tangan serta tanggal yang jelas pada formulir isian (Lampiran).

4.2 Teknis

4.2.1 Peralatan pengeboran

Peralatan pengeboran disesuaikan dengan kebutuhan yang ada di lapangan

4.2.2 Material sumur produksi

Pada dasarnya konstruksi sumur, baik sumur dalam maupun sumur menengah adalah sama (lihat Gambar B.1, B.2a dan B.2b), yang berbeda hanya pada bahan yang harus disediakan, harus disediakan seperti yang disajikan pada Tabel 1:

Tabel 1 - Daftar bahan yang dibutuhkan dalam pengeboran

No.	Pipa	Diameter sumur		
		Dangkal	Menengah	Dalam
1.	Pipa BMS (jambang/casing)	20,32 cm (8 inci)	25,40 cm (10 inci)	30,48 cm
2.	Pipa BMS (lindung)	15,24 cm (6 inci)	15,24 cm (6 inci)	15,24 cm (6 inci)
3.	Pipa saringan (kawat)	15,24 cm (6 inci)	15,24 cm (6 inci)	15,24 cm (6 inci)
4.	<i>Reducer</i>	20,32 cm (8 inci) - 15,24 cm (6 inci)	25,40 cm (10 inci) - 15,24 cm (6 inci)	30,48 cm (12 inci) - 15,24 cm (6 inci)
5.	Sentraliser	20,32 cm (8inci) - 15,24 cm (6 inci)	25,40 cm (10 inci) - 15,24 cm (6 inci)	30,48 cm (12 inci) - 15,24 cm (6 inci)
Ket.	Penutup dasar sumur, ukuran sesuai pipa produksi			

4.2.3 Selimut kerikil

Selimut kerikil digunakan sebagai pelapis antara pipa jambang dengan pipa lindung atau pipa saring sehingga memungkinkan air lolos melalui selimut tersebut namun material tanah tidak turut terbawa.

- Material selimut kerikil terdiri dari batuan keras/batuan beku, tidak mengandung batu gamping atau batuan gampingan, dan tidak mengandung lempung atau lumpur, berbutir bulat dan ukurannya bergradasi;
- Hasil analisis besar butir dari contoh batuan hasil pengeboran, dipakai untuk menentukan ukuran gradasi dari selimut kerikil yang akan dipakai pada tiap sumur;
- Setelah interval ditentukan kemudian ditambahkan diameter butir bahan selimut kerikil ditentukan (misalnya antara 2 mm sampai dengan 10 mm dengan koefisien keseragaman antara 2 sampai dengan 3), maka harus dilakukan analisis besar butir terhadap contoh bahan yang diusulkan untuk dipakai sebagai bahan selimut kerikil;
- Kemudian hasil analisis tersebut diserahkan dari juru bor kepada ahli geologi/geohidrologi untuk dipertimbangkan. Setelah disetujui, bahan selimut kerikil tersebut harus disiapkan di lokasi pengeboran sebelum pemasangan pipa sumur dimulai.

4.2.4 Konstruksi sumur

Konstruksi sumur merupakan panduan mengenai bentuk sumur di antaranya mengenai diameter yang disesuaikan dengan tipe dan kedalaman sumur.

- Sumur mempunyai tipe Lonjor Tunggal dengan pipa jambang berdiameter dalam 25,40 cm sampai dengan 30,48 cm atau 50,8 cm untuk sumur dalam, dan 15,24 cm untuk sumur menengah yang dihubungkan dengan *reducer* ke pipa lindung berdiameter dalam 15,24 cm untuk sumur dalam atau 7,62 cm untuk sumur menengah (Lihat Tabel 1).
- Pipa pengendap dengan penutup dipasang pada dasar sumur dan dihubungkan dengan pipa lindung terbawah (lihat Lampiran B Gambar B.1 dan Gambar B.2a).
- Pada setiap batang pipa lindung harus dilengkapi minimal dengan 2 buah sentraliser.
- Konstruksi sumur pada lapisan batuan lepas dapat dilihat pada Lampiran B Gambar B.2a sedangkan pada lapisan batuan keras (kompak) terlihat pada Gambar B.2b.
- Pemilihan konstruksi sumur yang akan dipasang ditentukan oleh kondisi hidrogeologi setempat, berdasarkan pada sifat batuan penyusun dari lapisan batuan di tiap lokasi sumur.

5 Cara pengerjaan

5.1 Metode pengeboran

Pengeboran pada SNI ini menggunakan metode "*Direct Circulation Mud Flush (DCMF)*".

5.2 Pemasangan mesin bor

Pasang mesin bor dengan hati-hati di atas pondasi yang kuat agar memberikan hasil yang baik dan mencegah kerusakan mesin bor itu sendiri, serta menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan terhadap personil atau tenaga kerja pengeboran.

5.3 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur dalam

Secara umum tahapan pekerjaan konstruksi sumur adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan lokasi dan lakukan kegiatan persiapan.
- b) Pasang mesin bor.
- c) Lakukan pengeboran lubang diameter 50,8 cm dari permukaan tanah sampai pada kedalaman 12 m sampai dengan 18 m.
- d) Pasang pipa konduktor sementara dengan diameter 45,72 cm untuk melindungi dinding lubang bor dari longsor.
- e) Lakukan pengeboran lubang diameter 40,64 cm sampai pada kedalaman 36 m sampai dengan 42 m.
- f) Lakukan pengeboran lubang diameter 30,48 cm sampai kedalaman 100 m atau yang diijinkan oleh pihak berwenang.
- g) Saat pengeboran dilakukan pengambilan contoh batuan dari *cutting* limbah/lumpur pengeboran (*cutting*) pada setiap meter kedalaman.
- h) Lakukan sirkulasi (*spooling*) dan kurangi kekentalan lumpur pengeboran dengan cara menambah material pengencer untuk membersihkan lubang bor dari sisa-sisa *cutting* limbah/lumpur pengeboran.
- i) Laksanakan pendugaan geofisik sumur (*logging*) untuk mengetahui variasi batuan penyusun, serta batas-batas kedalaman dan ketebalan lapisan pembawa air, selanjutnya berdasarkan kondisi hidrogeologi setempat dapat ditentukan desain sumur yang sesuai.
- j) Pasang pipa penyaring berdiameter 15,24 cm dan *reducer*.
- k) Pasang pipa jambang berdiameter 25,40 cm sampai dengan 30,48 cm sesuai desain sumur yang telah ditentukan.
- l) Cabut pipa konduktor sementara.
- m) Lakukan pengujian ketegaklurusan pipa jambang sumur.
- n) Isikan selimut kerikil pada sekeliling pipa penyaring disertai sirkulasi lumpur yang tetap dijalankan.
- o) Lakukan sementasi pada sekeliling pipa jambang dan pipa lindung.
- p) Lakukan pencucian sumur untuk mengeluarkan material halus, lumpur pengeboran dan *mud cake* yang terdapat dalam akuifer di sekeliling sumur.
- q) Bongkar mesin bor.
- r) Laksanakan pemompaan uji untuk menguji/mengetahui karakteristik dan kemampuan sumur maupun akuifer.
- s) Pasang tutup sumur lengkap dengan kuncinya untuk mencegah benda asing masuk ke dalam sumur.
- t) Pulihkan kondisi lokasi pengeboran seperti keadaan semula.

Jika kondisi hidrogeologi setempat menentukan untuk melaksanakan pengeboran lubang penuntun (*pilot hole*), maka pada tahap ke-3 sampai dengan tahap ke-6 diganti dengan tahap sebagai berikut:

- a) Laksanakan pengeboran lubang diameter 30,48 cm dari permukaan tanah sampai pada kedalaman 12 m dan 18 m.
- b) Pasang pipa konduktor sementara diameter 25,40 cm untuk melindungi dinding lubang bor dari guguran.
- c) Laksanakan pengeboran lubang penuntun dengan diameter 22,22 cm sampai pada kedalaman 125 m atau yang diijinkan oleh pihak berwenang.
- d) Lakukan sirkulasi dan kurangi kekentalan lumpur pengeboran dengan cara menambah material pengencer untuk membersihkan lubang bor dari sisa-sisa *cutting* pengeboran.
- e) Lakukan pendugaan geofisik sumur untuk mengetahui perbedaan batuan penyusun serta kedalaman dan ketebalan lapisan pembawa air.
- f) Jika hasil pengeboran lubang penuntun dan hasil pengukuran geofisik menunjukkan adanya lapisan produktif, maka lebarkan lubang penuntun menjadi diameter 50,80 cm sampai pada kedalaman antara 12 m sampai dengan 18 m atau seperti yang ditentukan oleh kondisi hidrogeologi setempat dengan terlebih dahulu mencabut pipa konduktor diameter 25,40 cm.
- g) Pasang pipa konduktor sementara berdiameter 42,72 cm.
- h) Lanjutkan pelebaran lubang bor dari berdiameter 22,22 cm menjadi diameter 40,64 cm dan berdiameter 30,48 cm sesuai dengan kedalaman yang telah ditentukan.
- i) Selanjutnya lakukan proses pengeboran seperti pada tahap ke-7 dan seterusnya.

Konstruksi sumur dalam dapat dilihat pada Lampiran B Gambar B.1.

5.4 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur menengah

Kalau tidak ditentukan lain, maka pengeboran dilakukan dengan metode sirkulasi lumpur langsung. Secara umum langkah-langkah pekerjaan konstruksi sumur adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan lokasi dan kegiatan persiapan.
- b) Pasang mesin bor.
- c) Lakukan pengeboran lubang berdiameter 30,48 cm dari permukaan tanah sampai kedalaman maksimum 15 m.
- d) Pasang pipa konduktor sementara berdiameter 25,40 cm untuk melindungi dinding lubang bor dari guguran.
- e) Laksanakan pengeboran lubang berdiameter 22,22 cm atau 17,14 cm jika sumur bor mempunyai lapisan batuan keras (*gamping*) sampai kedalaman 40 m sampai dengan 60 m.
- f) Lakukan sirkulasi dan kurangi kekentalan lumpur pengeboran dengan cara menambah material pengencer untuk membersihkan lubang bor dari sisa-sisa *cutting* pengeboran.
- g) Lakukan pendugaan geofisik sumur untuk mengetahui perbedaan batuan penyusun serta kedalaman dan ketebalan lapisan pembawa air.
- h) Pasang pipa produksi berdiameter 7,62 cm dan *reducer* apabila sumur bor mempunyai lapisan batuan lunak.
- i) Pasang pipa jambang berdiameter 15,24 cm.
- j) Cabut pipa konduktor berdiameter 25,40 cm.

- k) Isikan selimut kerikil pada sekeliling pipa penyaring jika ada.
- l) Lakukan injeksi semen pada rongga di sekeliling pipa jambang.
- m) Lakukan pencucian sumur untuk mengeluarkan material halus, lumpur pengeboran dan *mud cake* yang terdapat dalam akuifer di sekeliling sumur.
- n) Bongkar mesin bor.
- o) Laksanakan pemompaan uji untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan sumur maupun akuifer.
- p) Pasang tutup sumur lengkap dengan kuncinya untuk mencegah benda asing masuk ke dalam sumur.
- q) Pulihkan kondisi lokasi pengeboran seperti keadaan semula.

Contoh konstruksi sumur menengah seperti terlihat pada Lampiran B Gambar B.2a dan Gambar B.2b.

5.5 Prosedur pekerjaan konstruksi sumur dangkal

Kalau tidak ditentukan lain, maka pengeboran dilakukan dengan metode sirkulasi lumpur langsung. Secara umum langkah-langkah pekerjaan konstruksi sumur adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan lokasi dan kegiatan persiapan.
- b) Pasang mesin bor.
- c) Lakukan pengeboran lubang berdiameter 30,48 cm dari permukaan tanah sampai kedalaman maksimum 15 m.
- d) Pasang pipa konduktor sementara berdiameter 25,40 cm untuk melindungi dinding lubang bor dari guguran.
- e) Laksanakan pengeboran lubang berdiameter 22,22 cm atau 17,14 cm maksimum sampai kedalaman 40 m.
- f) Lakukan sirkulasi dan kurangi kekentalan lumpur pengeboran dengan cara menambah material pengencer untuk membersihkan lubang bor dari sisa-sisa *cutting* pengeboran.
- g) Pasang pipa jambang berdiameter 15,24 cm.
- h) Cabut pipa konduktor berdiameter 25,40 cm.
- i) Isikan selimut kerikil pada sekeliling pipa penyaring jika ada.
- j) Lakukan injeksi semen pada rongga di sekeliling pipa jambang.
- k) Lakukan pencucian sumur untuk mengeluarkan material halus, lumpur pengeboran dan *mud cake* yang terdapat dalam akuifer di sekeliling sumur.
- l) Bongkar mesin bor.
- m) Laksanakan pemompaan uji untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan sumur maupun akuifer.
- n) Pasang tutup sumur lengkap dengan kuncinya untuk mencegah benda asing masuk ke dalam sumur.

Pulihkan kondisi lokasi pengeboran seperti keadaan semula.

5.6 Cara pelaksanaan beberapa kegiatan dalam pekerjaan konstruksi sumur

5.6.1 Pemasangan dan pencabutan pipa konduktor

Pipa konduktor dipasang untuk mencegah runtuhnya dinding sumur bor selama proses pengeboran berlangsung dan dicabut sebelum pemberian selimut kerikil atau sementasi. Sedangkan diameter pipa disesuaikan dengan diameter lubang bor.

5.6.2 Pengawasan lumpur pengeboran

Ukur kekentalan dan densitas lumpur selama operasi pengeboran setiap jam dengan *Marsh Funnel* dan *Mud Balance*. Pertahankan kekentalan lumpur pengeboran antara 35 s sampai 45 s dengan rapat massa kira-kira $1,07 \text{ kg/m}^3$ dan kadar pasir dalam lumpur pengeboran harus kurang dari 5% atau disarankan 2%. Angkat mata bor dan stang bor dari lubang sumur apabila sirkulasi lumpur pengeboran berhenti pada waktu pekerjaan pengeboran.

5.6.3 Pengambilan contoh batuan dengan sirkulasi lumpur pengeboran

- Untuk memperoleh contoh batuan hasil pengeboran yang baik, lakukan sirkulasi lumpur pengeboran terhadap lubang bor pada kedalaman tertentu (tiap 1 m pertambahan kedalaman) sampai lubang bor bersih dari material hancuran batuan, kemudian lanjutkan pengeboran kembali.
- Demikian seterusnya urutan proses pengambilan contoh batuan dengan sirkulasi lumpur pengeboran, sehingga contoh batuan yang keluar adalah contoh batuan yang benar.
- Contoh batuan dari lapisan yang dibor harus diambil dan harus dapat mewakili satuan batuan setiap 1 m kedalaman pengeboran. Contoh yang diambil beratnya tidak kurang dari 1 kg, lalu dicuci seperlunya dan disimpan dalam botol atau kantong plastik yang tembus pandang atau transparan dengan mencantumkan nomor sumur, lokasi, kedalaman dan tanggal pengambilannya.
- Kemudian lakukan pemerian terhadap setiap contoh batuan yang dikumpulkan dan buat catatan yang tepat mengenai batas kedalaman setiap batuan yang ditembus.

5.6.4 Pelebaran lubang bor

Apabila pengeboran dilaksanakan dengan prosedur lubang penuntun (*pilot hole*), sedangkan hasil pendugaan tahanan jenis dan *Self Potential* (SP) menunjukkan adanya lapisan pembawa air yang produktif, maka lebarkan lubang penuntun dengan menggunakan *reamer bit* (mata bor yang digunakan untuk memperbesar lubang bor) atau *hole opener* berdiameter tertentu yang sesuai dan dilengkapi dengan alat penuntun berdiameter sama dengan lubang bor yang dilebarkan, supaya ketegaklurusannya sama dengan lubang penuntun.

5.6.5 Akhir pengeboran dan pembersihan lubang bor

Hentikan pengeboran apabila lubang bor telah mencapai kedalaman yang telah ditentukan, kemudian bersihkan lubang bor dari *cutting* (potongan hasil pengeboran), dengan melaksanakan sirkulasi lumpur paling sedikit selama 6 jam secara terus menerus.

Setelah lubang bor betul-betul bersih, kurangi kekentalan lumpur pengeboran sampai 33 detik *marsh funnel* dengan cara menambah material pengencer, lalu persiapkan pelaksanaan pengukuran pendugaan geofisik.

5.6.6 Pembongkaran mesin bor

Setelah instalasi sumur dan pekerjaan lain yang memerlukan mesin bor di satu lokasi dinyatakan selesai, maka bongkar mesin bor dan pindahkan ke lokasi berikutnya beserta perlengkapan dan material yang akan dipakai.

5.6.7 Pendugaan geofisika sumur

Pendugaan geofisika sumur dilakukan untuk mengetahui *properties* sumur dengan memberikan dan atau menerima respon gelombang dari modul alat. Melalui pendugaan geofisika sumur didapatkan gambaran litologi, porositas, batas lapisan, ketebalan lapisan, tergantung dari modul yang digunakan. Pendugaan ini dapat dilakukan dengan berbagai modul alat di antaranya adalah *gamma ray*, *spontaneous potential*, *resistivity*, *index polarity*, dan lain-lain. Pendugaan geofisika ini dilakukan sebelum pemasangan pipa sumur untuk mendapatkan respon gelombang yang sebenarnya dari lapisan batuan.

- Sebelum pelaksanaan pengukuran pendugaan geofisik, bersihkan lebih dahulu lubang bor yang telah selesai dikerjakan dengan sirkulasi lumpur secukupnya untuk menghilangkan *cutting* pengeboran dan mencegah runtuhnya lubang bor, sehingga memudahkan pengoperasian pengukuran untuk mencapai dasar lubang bor.
- Laksanakan pengukuran sepanjang lubang bor mulai dari dasar sampai ke permukaan tanah (harus bebas hambatan).
- Lakukan pengambilan data log berulang kali sampai diperoleh gambaran atau data yang sebaik mungkin.
- Hentikan sementara pekerjaan pengukuran pada saat terjadinya hujan lebat atau banyak petir, hal itu untuk menjaga ketelitian data yang bebas dari gangguan listrik.

5.6.8 Ketegaklurusan lubang bor dan pipa jambang

Mengacu pada SNI 6454, *Cara uji ketegaklurusan sumur*.

5.6.9 Pemasangan pipa sumur

Pipa sumur dipasang sebagai langkah akhir penyelesaian pembuatan sumur bor. Pipa sumur dipasang sebagai media dalam pompa menaikkan air ke permukaan. Pada beberapa tempat sesuai dengan hasil pendugaan geofisika dan analisis *cutting* dipasang pipa saring (*screen*). Pemasangan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Setelah pengeboran selesai sesuai dengan kedalaman yang ditentukan, bersihkan lubang bor dengan sirkulasi lumpur pengeboran sampai bersih dari sisa-sisa *cutting* selama 6 jam.
- Pasang pipa-pipa sumur lengkap dengan material tambahan ke dalam lubang bor, sesuai dengan yang telah ditentukan.
- Pasang dengan tepat pipa lindung dan pipa saringan berada di tengah lubang bor dengan menggunakan sentraliser (terbuat dari besi plat atau bahan lainnya) yang dipasang setiap 12 m kedalaman.
- Agar konstruksi sumur dapat optimal, maka lakukan instalasi sumur setelah bahan selimut kerikil (*gravel pack*) tersedia di lokasi pekerjaan, karena pengisian selimut kerikil dilaksanakan segera setelah pemasangan pipa.
- Lakukan pencatatan dengan teliti mengenai : panjang masing-masing pipa dan penyaring maupun *reducer* termasuk jumlah pemasangannya di tiap sumur. Ketelitian

perhitungan diperlukan setiap milimeter kedalaman pada pengukuran tiap komponen sumur.

5.6.10 Pengisian selimut kerikil

- Setelah pemasangan pipa produksi dilakukan, maka masukkan bahan selimut kerikil dengan ukuran yang telah ditentukan ke dalam rongga di antara pipa produksi dan dinding lubang bor (lihat Gambar B.2a).
- Pada saat pengisian selimut kerikil, sirkulasi lumpur bor tetap dijalankan dengan kekentalan yang dikurangi dan dipertahankan pada 33 detik *marsh funnel*. Lakukan pengisian selimut kerikil dengan hati-hati sehingga pipa sumur terbungkus bahan selimut kerikil dengan baik pada sepanjang pipa produksi.
- Pencatatan dan perhitungan volume selimut kerikil yang telah dimasukkan dan pengukuran posisi kedalaman selimut kerikil dalam lubang pengeboran harus selalu dilakukan.

5.6.11 Sementasi

Setelah instalasi pipa jambang, pipa saringan, pengisian selimut kerikil dan pencucian sumur selesai, isikan semen ke dalam rongga di luar pipa jambang sumur mulai dari dasar pipa jambang sampai ke permukaan tanah.

5.6.12 Penyempurnaan dan pencucian sumur

Mengacu kepada SNI 6377, *Tata cara pencucian sumur*.

5.6.13 Uji pemompaan

Uji pemompaan dilakukan setelah pencucian sumur, dengan maksud sebagai berikut:

- Menentukan karakteristik sumur antara lain ; penurunan muka air yang stabil, penurunan maksimum dan optimum, debit maksimum dan optimum, kehilangan tinggi tekan sumur, kapasitas spesifik (*specific capacity*), efisiensi sumur dan kedalaman pemasangan pompa.
- Menentukan karakteristik akuifer antara lain ; permeabilitas (k), transmisibilitas (T), kehilangan tinggi tekan akuifer (BQ), koefisien simpanan (S).

5.6.14 Analisis kualitas air

pelaksanaan pengambilan contoh air pada akhir uji pemompaan debit tetap sebanyak 2 contoh untuk setiap sumur dengan volume masing-masing 1 liter sesuai dengan SNI 6989.58 pasal 9.1.1, kemudian kirimkan segera ke laboratorium terdekat untuk dianalisis.

Evaluasi kualitas air harus dilakukan terhadap baku mutu air sesuai dengan peraturan yang berlaku, pemanfaatan sumber air. Untuk keperluan air minum mengacu kepada Peraturan yang berlaku (Pada saat Standar ini diterbitkan peraturan yang terkait adalah Permenkes No. 416/1990 tentang persyaratan kualitas air bersih, dan baku mutu air pemanfaatan lainnya yang berlaku, tetapi jika tidak ada digunakan kelas 2 . PP No. 82 tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Kandungan-kandungan zat kimia) tersebut diukur dan dinyatakan dalam satuan (mg/l), serta diberikan rekomendasi tentang memenuhi syarat atau tidaknya air tersebut apabila dipakai untuk air minum, air irigasi ataupun kepentingan lainnya.

5.6.15 Analisis besar butir

Kalau diperlukan laksanakan analisis besar butir (analisis dengan ayakan) terhadap beberapa contoh *cutting* dari tiap sumur yang akan dipilih. Sebelum dianalisis, hilangkan sisa lumpur pengeboran yang masih terdapat pada contoh tersebut dengan mencucinya, kemudian keringkan dengan memakai alat pengering atau sinar matahari.

Analisis besar butir dilakukan dengan mengacu kepada SNI 3423 Cara Uji analisis ukuran butir tanah.

5.6.16 Pemasangan tutup sumur

Apabila uji pemompaan telah selesai dilaksanakan, maka tutuplah sumur lengkap dengan kuncinya, untuk mencegah material-material asing masuk ke dalam sumur. Kemudian pasang patok tanda pengenal sumur yang mencantumkan nomor sumur dan tahun pembuatan.

6 Laporan dan catatan pelaksanaan pekerjaan

Catat secara rinci mengenai semua data dan lapisan yang diperoleh dari semua pekerjaan pengeboran di masing-masing lokasi sumur dan simpan catatan tersebut untuk sewaktu-waktu diperlukan.

Buat laporan harian mengenai material, alat yang digunakan, kedalaman pengeboran dan data lain yang dibutuhkan pada pekerjaan yang telah dan akan dilaksanakan.

Laporan akhir dibuat setelah pekerjaan selesai yang berisi penjelasan rinci dari data yang diperoleh selama pengeboran dan ringkasan pekerjaan yang telah dilaksanakan dalam bentuk isian formulir. Laporan harus meliputi hal-hal sebagai berikut:

- 1) Log pengeboran harian tentang keterangan mengenai jalannya operasi pengeboran antara lain pekerjaan pengeboran, instalasi sumur, pengembangan sumur, personil, peralatan dan material yang dipakai, pengukuran pipa, kedalaman sumur dan data lain yang dibutuhkan.
- 2) Log litologi dan pendugaan geofisik sumur yang mengidentifikasi lapisan berdasarkan jenis dan sifat batuan, kedalamannya, nomor contoh atau *cutting*, *log resistivity*, SP atau Gamma ray dan log *Electric Conductivity* air (termasuk log debit kalau ada).
- 3) Catatan rencana posisi pipa saringan (desain sumur) dan hasil pemasangan, berupa gambar konstruksi sumur meliputi susunan komponen sumur dan kedalaman yang terpasang, termasuk catatan mengenai penyambungan pipa.
- 4) Catatan jumlah selimut kerikil yang terpakai dan jumlah adukan semen yang diisikan kedalam rongga di luar pipa jambang di tiap sumur.
- 5) Catatan pengujian ketegaklurusan pipa jambang sumur.
- 6) Catatan mengenai pekerjaan pencucian sumur meliputi debit, muka air tanah, lama pengoperasian, pengamatan kekeruhan air, alat dan material yang dipakai, jumlah personil, jam kerja dan lain sebagainya.
- 7) Catatan kegiatan uji pemompaan dan semua data yang dikumpulkan selama pengujian.
- 8) Catatan mengenai pH, temperatur, daya hantar listrik (DHL) dan jumlah kandungan pasir dari air yang dipompa.
- 9) Kurva gradasi hasil analisis besar butir contoh *cutting* dan bahan selimut kerikil.

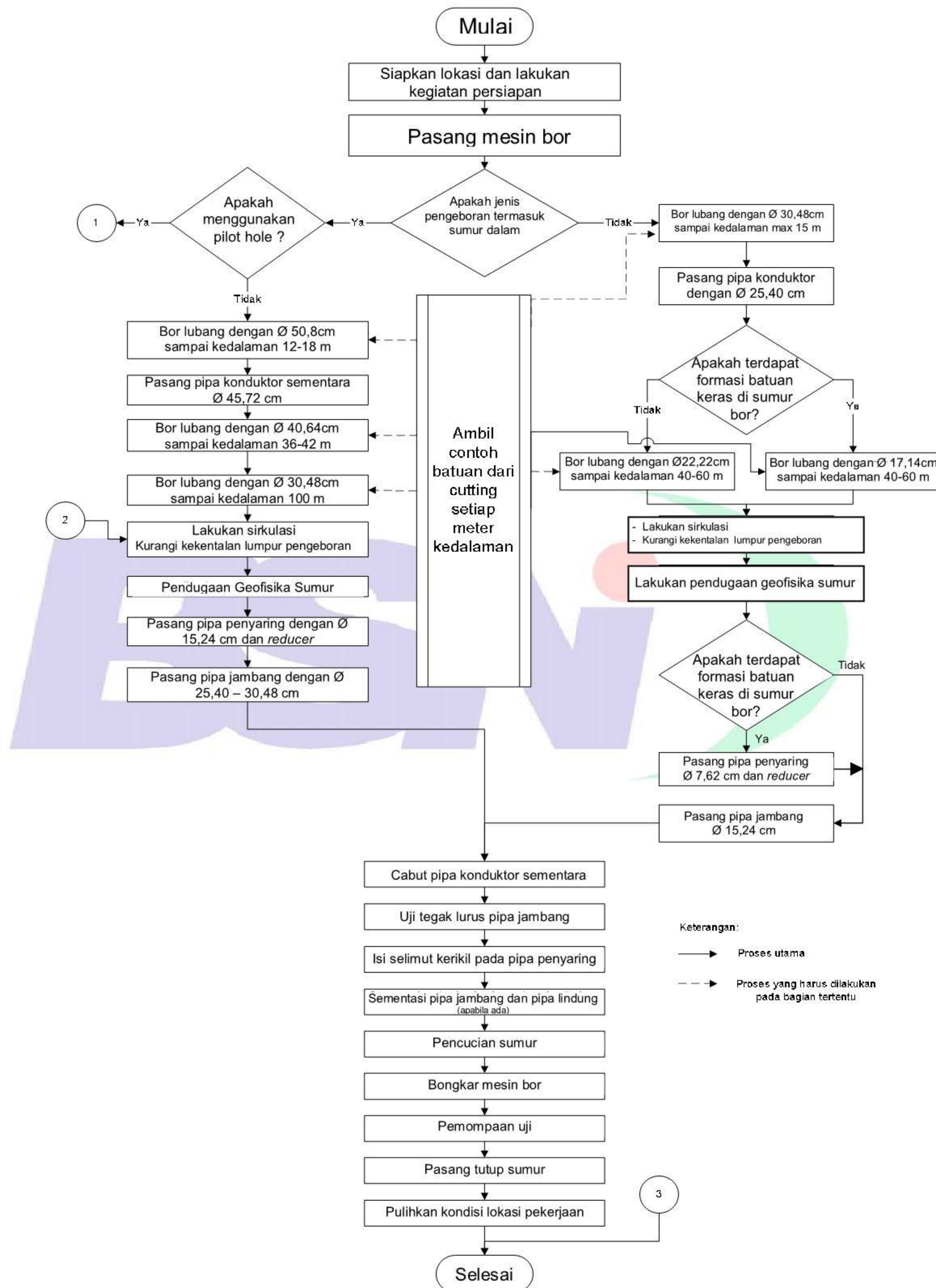
Buatlah dokumentasi kegiatan pekerjaan konstruksi sumur dengan foto-foto yang diambil untuk masing-masing sumur yang meliputi kegiatan:

- 1) sumur dalam kondisi 0%.
- 2) mata bor akan mulai dioperasikan.
- 3) 50% pengeboran.
- 4) pengambilan contoh *cutting*.
- 5) stang bor sudah masuk seluruhnya.
- 6) contoh *cutting* sudah diperoleh seluruhnya.
- 7) proses *logging*.
- 8) persiapan pemasangan pipa.
- 9) penyimpanan bahan selimut kerikil di lokasi.
- 10) pemasangan pipa setiap tahapannya.
- 11) pengisian bahan selimut kerikil.
- 12) pencucian sumur.
- 13) uji pemompaan.
- 14) pemasangan tutup sumur atau kondisi 100%.

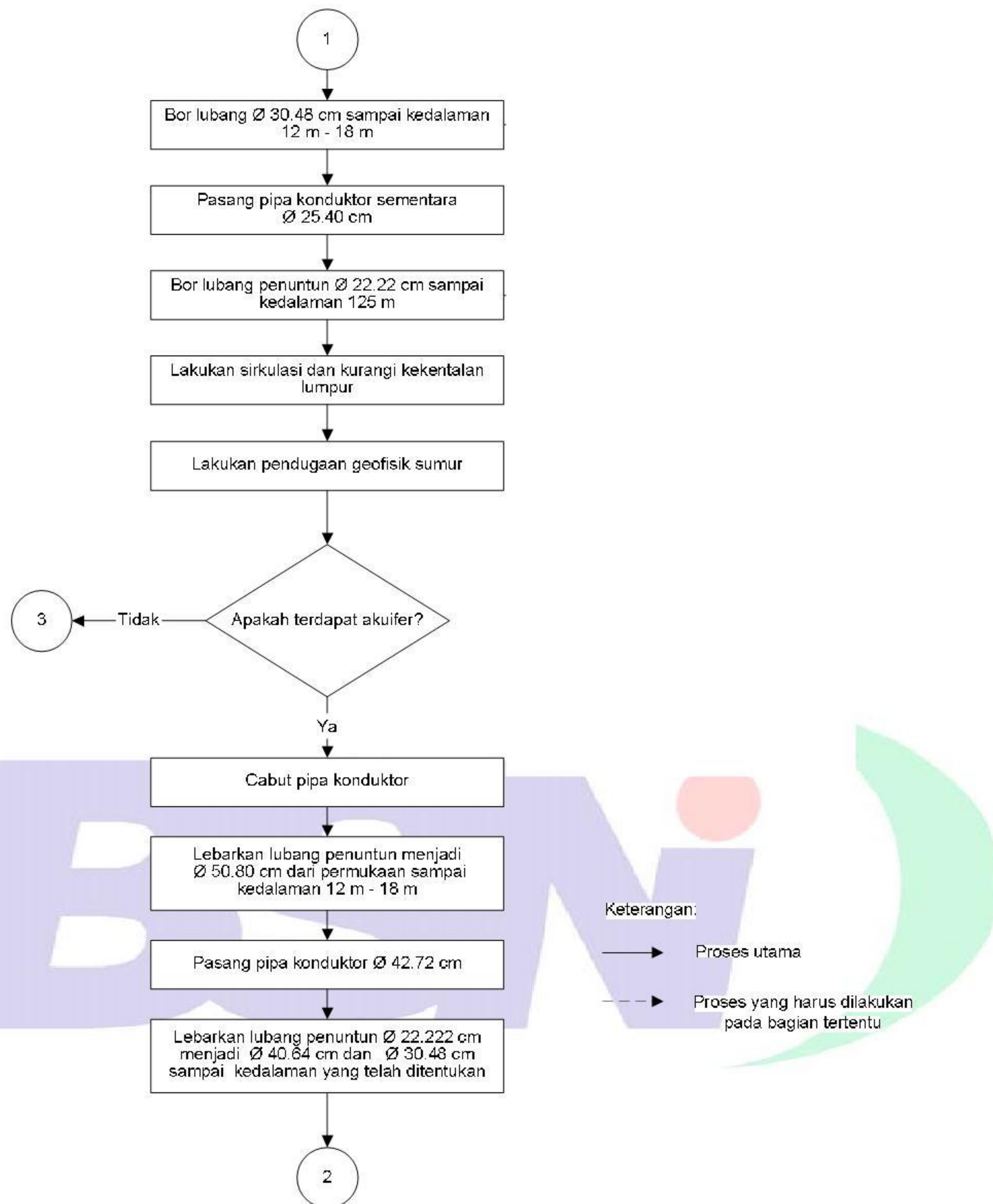
Untuk kegiatan dokumentasi perlu dilengkapi dengan foto harus dicetak rangkap 2 disertai dalam bentuk digital.



Lampiran A (normatif) Bagan alir



Gambar A.1 - Bagan alir tata cara pembangunan sumur produksi dengan sistem sirkulasi langsung

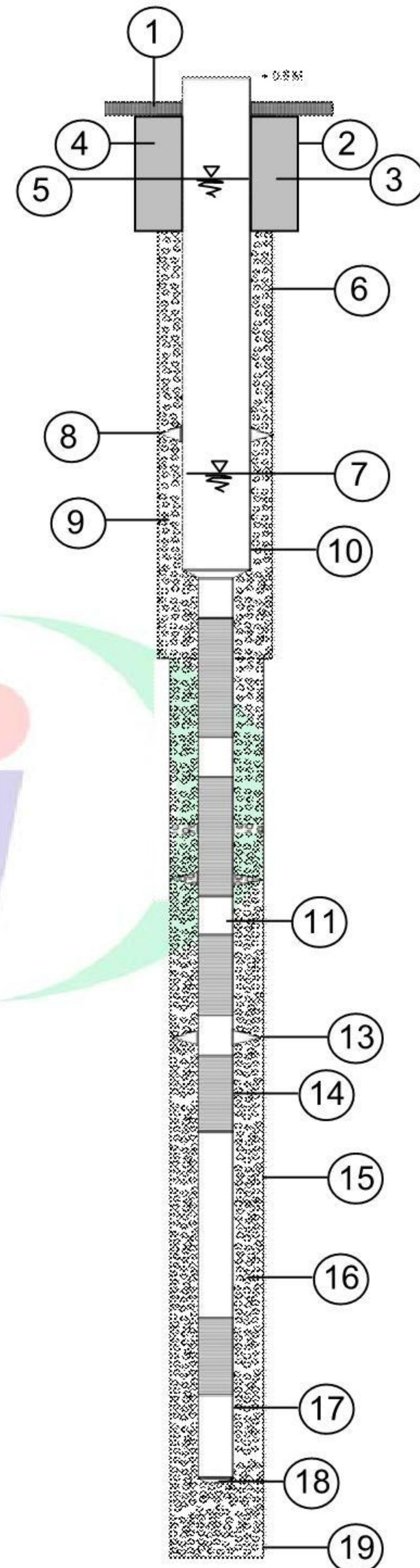


Gambar A.1 - Bagan alir tata cara pembangunan sumur produksi dengan sistem sirkulasi langsung (lanjutan)

Lampiran B
(informatif)
Gambar - gambar

Keterangan gambar:

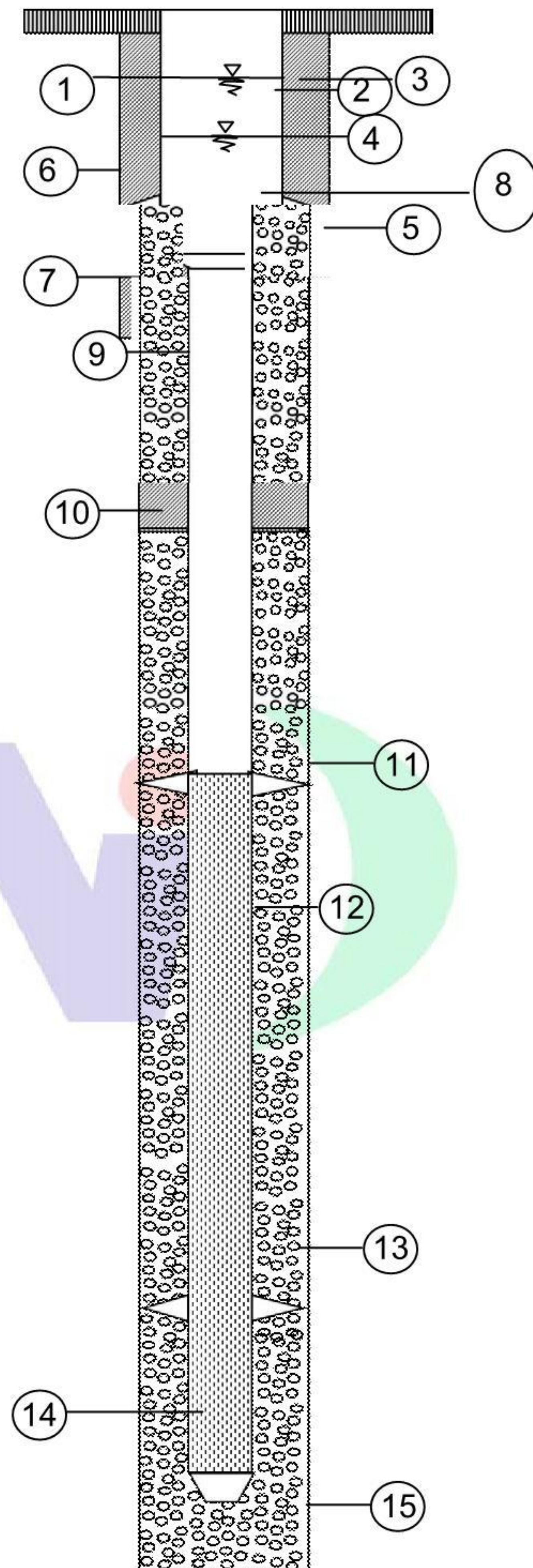
1. Beton
2. Pipa konduktor sementara diameter 45,72 cm
3. Sementasi
4. Lubang bor, diameter 50,80 cm
5. SWL
6. Pipa jambang
7. DWL
8. Sentraliser, diameter 30,48 cm ke 40,64 cm
9. Lubang bor, diameter 40,64 cm
10. Pipa jambang, diameter 30,48 cm
11. BMS 36 m s.d 42 m
12. Reducer, diameter 30,48 cm ke 15,24 cm
13. Sentraliser diameter 15,24 cm ke 30,48 cm
14. Saringan
15. Lubang bor diameter 30,48 cm
16. Selimut kerikil
17. Pipa BMS
18. Pipa sedimentasi dengan penutup dasar sumur diameter 15,24 cm
19. Kedalaman > 60 m



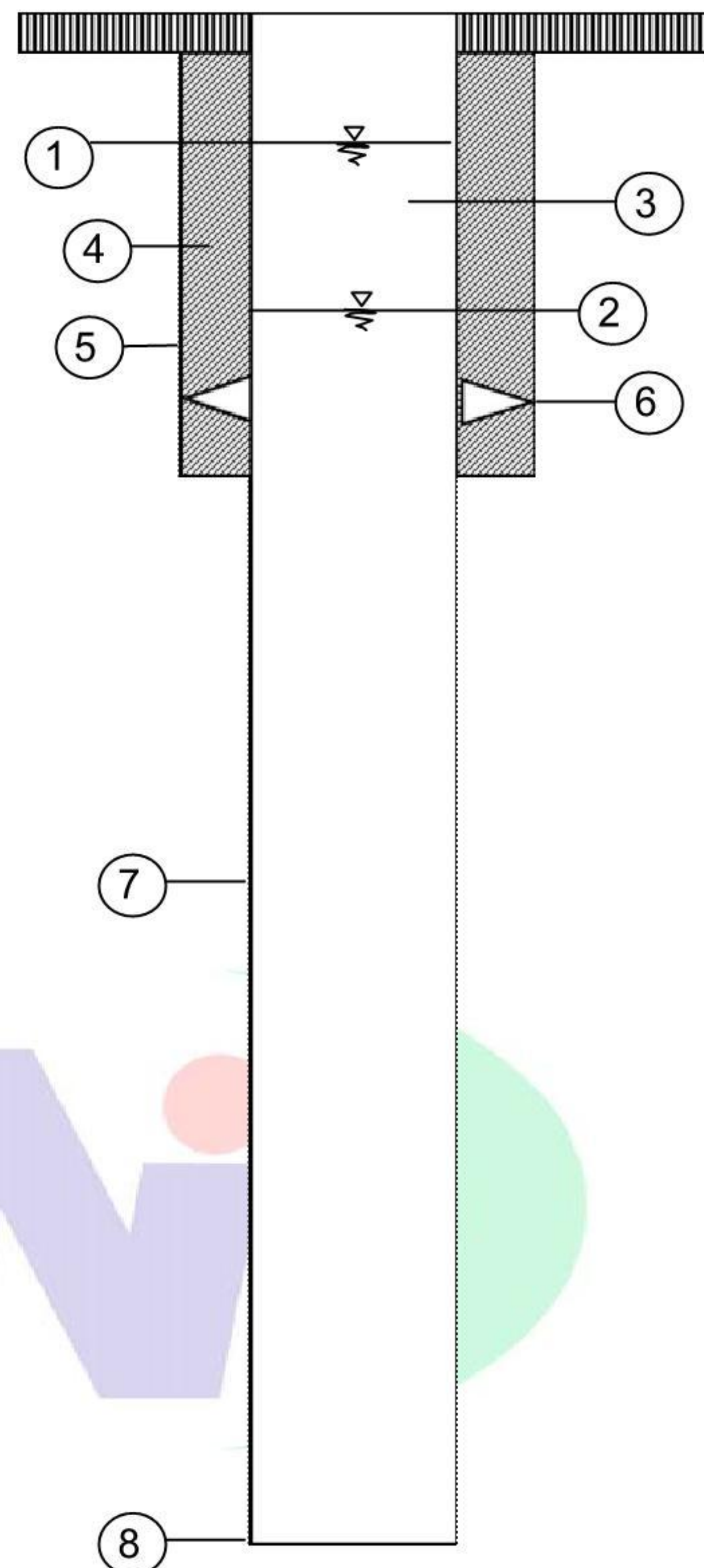
Gambar B.1 - Tipe desain sumur dalam

Keterangan gambar:

1. SWL
2. Pipa PVC diameter 15,24 cm
3. Sementasi
4. DWL
5. Lubang bor, diameter 30,48 cm
6. Tebal sementasi 12 cm
7. Tebal sementasi 15 cm
8. Reducer
9. Pipa PVC diameter 7,62 cm
10. Selimut kerikil
11. Lubang bor diameter 22,22 cm
12. Saringan/screen/slotted PVC
13. Sentraliser
14. Penutup dasar sumur
15. Kedalaman 40 m s.d. 60 m



Gambar B.2a - Tipe desain sumur menengah pada batuan lepas

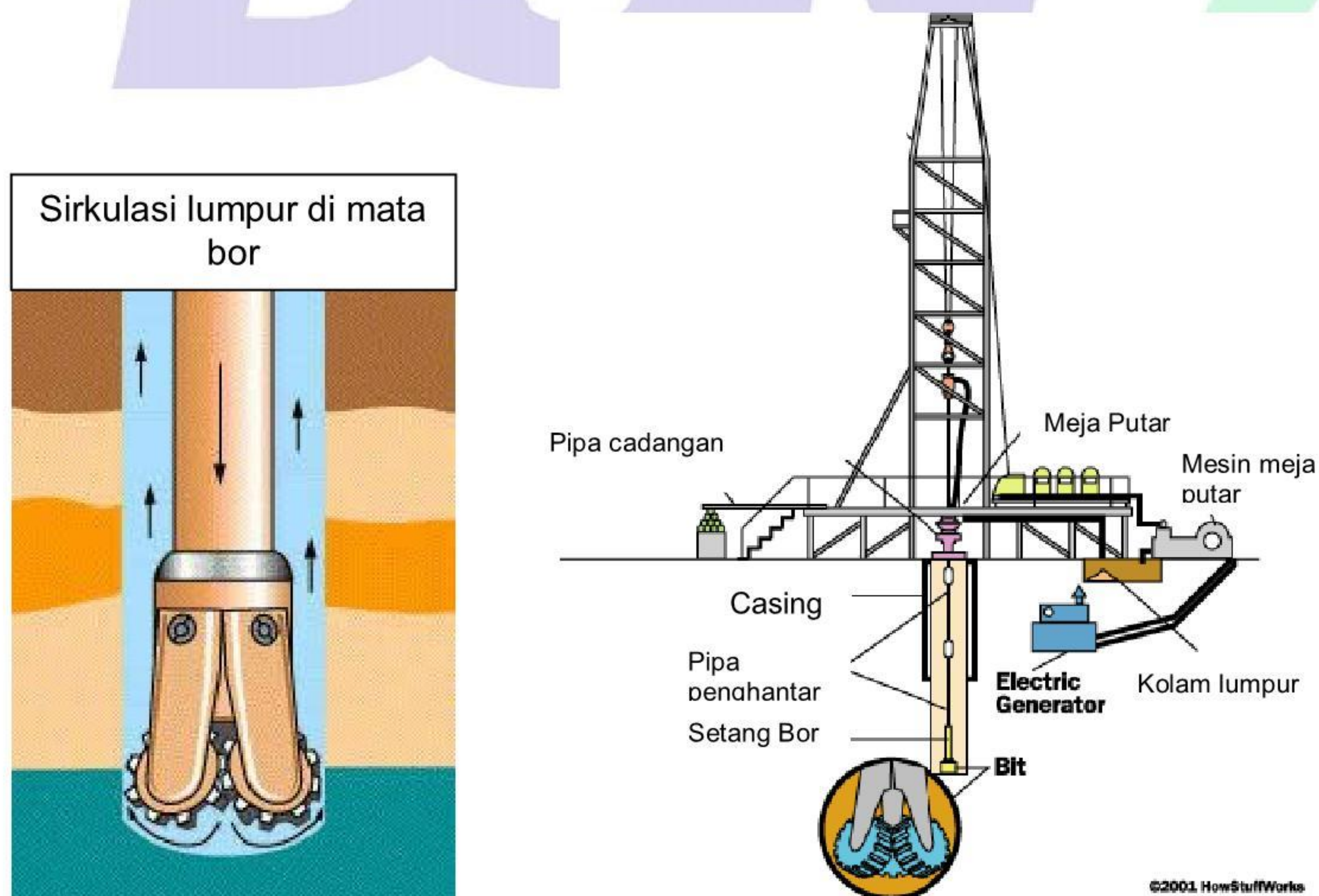
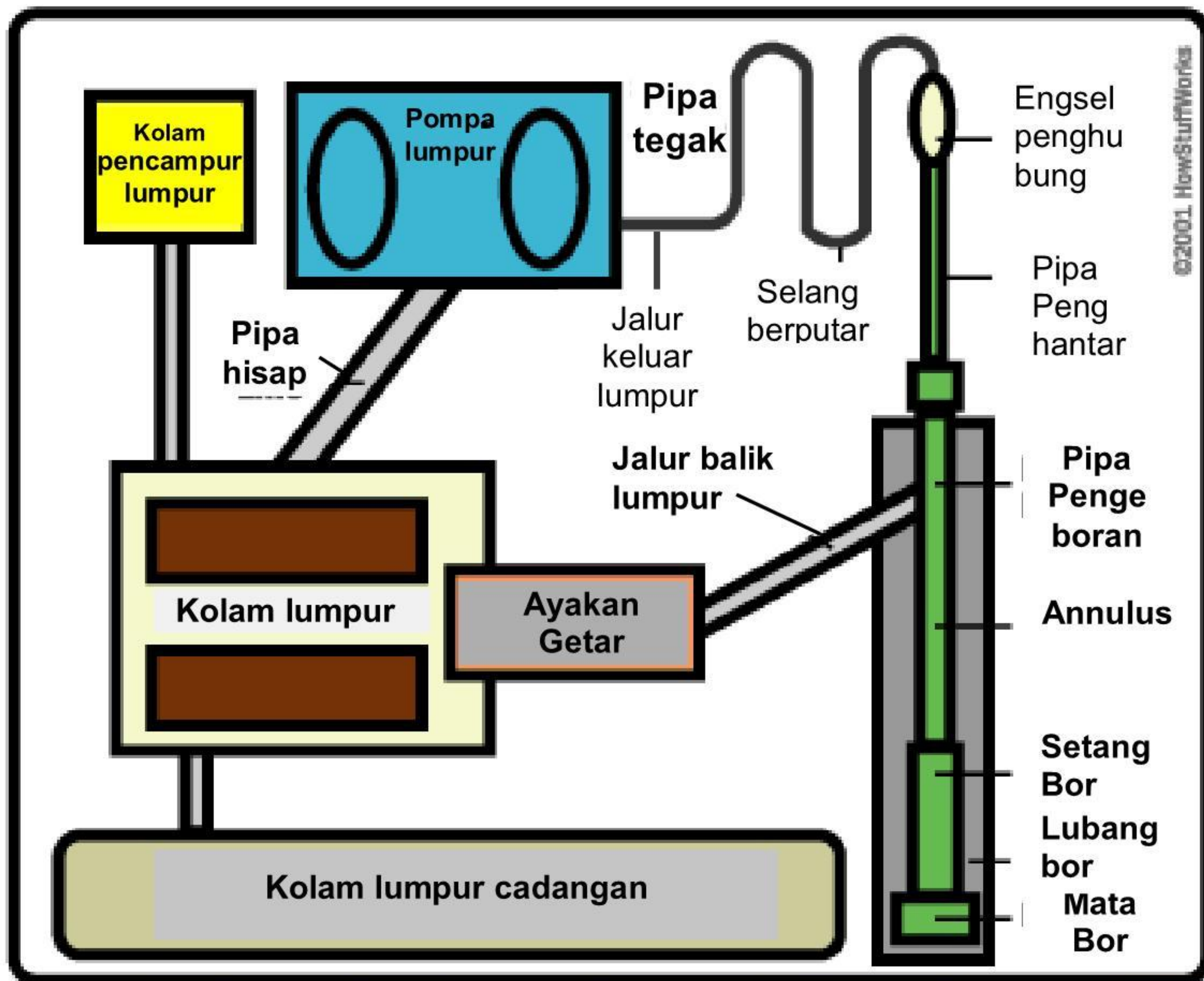


Keterangan gambar:

1. SWL
2. DWL
3. Pipa PVC diameter 15,24 cm
4. Sementasi atau *grouting*
5. Lubang bor diameter 30,48 cm
6. *Sealing peacker*
7. Lubang bor diameter 22,22 cm
8. Kedalaman 40 m s.d. 60 m

Gambar B.2b - Tipe desain sumur menengah pada batuan keras/terkonsolidai

Skema sirkulasi lumpur



Gambar B.3 - Contoh skema pembuatan instalasi pengeboran

Lampiran C
(informatif)
Contoh Isian Formulir

Tabel C.1a Contoh hasil pelaksanaan pengeboran

Lembar 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>No. Lembar Peta Top : 53/XLI-C</p> <p>No. Sumur : SMSB 298</p> <p>Proyek : PIAT JATIM BAGPRO SURABAYA</p> <p>Lokasi : MOJOJEJER</p> <p>Kabupaten : JOMBANG</p> <p>Kecamatan : MOJOWARNO</p> <p>Desa : MOJOJEJER</p> <p>Tipe Sumur : D T W A</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Koordinat (X) : 035</p> <p>Koordinat (Y) : 406</p> <p>Mesin Pemboran : GRYPHON MK 12</p> <p>Tanggal mulai pemboran :</p> <p>Tanggal selesai pemboran :</p> <p>Lumpur pemboran : Bentonite</p> <p>Juru Bor : Sudihari</p> <p>Kontraktor :</p> </div> </div>																
Tanggal	Kedalaman (m)		Waktu Pemboran / (pukul)		Waktu Tenggang (menit)	Selesai Waktu Tenggang (menit)	Total Waktu Pemboran (menit)	Pompa		Tekanan Kompresor (psi)	Lumpur Pemboran		Mata Bor			Keterangan
	Dari	s/d						Tekanan (psi)	Debit (l/me)		Kekentalan (s)	Kepadatan (kg/l)	Nomor	Ukuran	Tipe	
1	2		3	4	5	6	7	810	911		12	13	14	15	16	17
	0	1	14.00	14.04			4	12	58		45	1,1	1	8 3/4"	DRUG BIT	Mencampur 11 zak bentonite untuk lumpur pemboran
	1	2	14.04	14.08			4									
	2	3	14.08	14.10			2									
	3	4	14.15	14.18	5		3									Pasang pipa konduktor diameter 10" - 12 m
	4	5	14.18	14.21			3									
	5	6	14.21	14.23			2									
	6	7	14.28	14.30	5		2									
	7	8	14.30	14.32			2									
	8	9	14.32	14.39			7									
	9	10	14.45	14.51	6		6									
	10	11	14.51	14.57			6									
	11	12	14.57	15.02			5	12	58		45	1,1	2	8 3/4"	ROCK BIT	Ganto mata bor
	12	13	17.00	17.12			2									
	13	14	17.17	17.19	5		2									
	14	15	17.19	17.22			3									
	15	16	17.22	17.24			2	12	58							
	16	17	17.29	17.30	5		1									
	17	18	17.30	17.32			2									
	18	19	17.32	17.34			2									
	19	20	17.38	17.39	4		1	12	58		4,2	1,1				
	20	21	17.39	17.41			2	12								
	21	22	17.41	17.43			2									

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penyesuaian di website AkseSNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Tabel C.1b formulir pengeboran (normatif)

Lembar 1

<div><div>No. Lembar Peta Top : No. Sumur : Proyek : Lokasi : Kabupaten : Kecamatan : Desa : Tipe Sumur :</div><div>Koordinat (X) : Koordinat (Y) : Mesin Pemboran : Tanggal mulai pemboran : Tanggal selesai pemboran : Lumpur pemboran : Juru Bor : Kontraktor :</div></div>																
Tanggal	Kedalaman (m)		Waktu Pemboran / (pukul)	Waktu Tenggang (menit)	Selesai Waktu Tenggang (menit)	Total Waktu Pemboran (menit)	Pompa		Tekanan Kompresor (psi)	Lumpur Pemboran		Mata Bor			Keterangan	
	Dari	s/d					Tekanan (psi)	Debit (l/me)		Kekentalan (s)	Kepadatan (kg/l)	Nomor	Ukuran f	Tipe		
1	2		3	4	5	6	7	810	911	12	13	14	15	16	17	
			4.0	4.04				58								
			4.0	4.08												
			4.0	4.10												
			4.1	4.18												
			4.1	4.21												
			4.2	4.23												
			4.2	4.30												
			4.3	4.32												
			4.3	4.39												
			4.4	4.51												
			4.5	4.57												
			4.5	4.57				58								
			7.00	17.12												
			7.17	17.19												
			7.19	17.22												
								58								
			7.29	17.30												
			7.30	17.32												
			7.32	17.34												
			7.38	17.39				58			1					
			7.39	17.41												
			7.41	17.43												

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Aisec SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Lampiran D
(informatif)
Tabel daftar deviasi teknis dan penjelasannya

No.	Materi	Sebelum	Revisi
1.	Judul	Tata cara pembangunan sumur produksi	Tata cara pembangunan sumur produksi dengan sistem sirkulasi langsung
2.	Format	Belum mengikuti format PSN 8 Tahun 2007	Disesuaikan dengan format PSN 8 Tahun 2007
3.	Acuan normatif	Ada tetapi masih kurang	Ditambahkan
4.	Istilah dan definisi	Ada	Dilengkapi
5.	Ketentuan dan persyaratan	Ada	Diperbaiki dan ditambahkan
6.	Bagan alir	Tidak ada	Dibuatkan gambar alir
7.	Gambar	Sudah ada tetapi kurang	Ditambahkan dan diperjelas
8.	Contoh Formulir	Ada	Ditambahkan tabel formulir isian
9.	Bibliografi	Tidak ada	Ada

Bibliografi

SNI 2527, *Metode pengujian karakteristik akifer tertekan dengan uji pemompaan Jacob I*

Peraturan Pemerintah No 20 Tahun 1990, tentang Pengendalian pencemaran air

Culver, G., *Drilling and Well Construction*, Geo Heat Center, Klamath Falls, 2008.

Permen PU no 9/PRT/M/2008 tentang Sistem Manajemen Keselamatan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi

